

국내 택배화물의 안전운송 및 적정포장을 위한 Field-to-Lab 시험방법 연구

오재영* · 서상욱 · 임미진

한국건설생활환경시험연구원

A Study on Field-to-lab Test Method for the Safe Transport and Optimum Packaging Design of the Parcel Delivery in Korea

Jae Young Oh*, Sang Uk Suh, and Mijin Lim

Korea Conformity Laboratories

Abstract The growth of e-commerce market requires more delivery packagings, which protect goods from the damage factors on the delivery. In this study, we have analyzed the distribution environment data (vibration and impact) measured in previous study and compared with global standards (ISTA, ASTM), so that we developed the testing method for Field-to-Lab simulation suitable to the domestic delivery. In order to verify the efficacy of this method, we took the Field-to-Lab tests for 3 packaged products (detergents set, glass tableware set, small furniture), which has been frequent breakages or damages on the actual delivery by e-commerce order, so that we could find out the test results were similar to those of the actual delivery occasions. In addition, we could perform redesign and improvement of the parcel delivery packagings for safe transportation by taking this Field-to-Lab test repeatedly. This test methods was finally proposed to be Korean industrial standard (KS), and is expected to be useful as a designing tool for the packaging optimization between protecting goods and reducing packaging waste.

Keywords Safe Transit, Field-to-Lab Test, Optimum Packaging Design, Transportation Test, Parcel Delivery, ISTA

서 론

IoT기반의 전자상거래 유통플랫폼 기술 및 풀필먼트(fulfilment)와 같은 혁신적인 유통물류서비스를 바탕으로 글로벌 이커머스(e-commerce) 시장의 폭발적 성장은 소비자 구매패턴의 변화와 함께 전세계적으로 택배 물동량의 지속적 증가와 유통물류산업의 성장을 견인하고 있으며¹⁾, 최근 온오프라인(on-off line)의 경계를 넘나드는 다양한 경로의 옴니채널 방식 유통서비스의 발달은 이러한 상품배송을 위한 택배 물동량의 증가를 가속화시킬 전망이다. 한국통합물류협회 통계에 의하면, 2020년 기준 국내 택배 물동량은 337,373만 박스로 국내 경제활동인구 1인당 연간 122회로

집계되어 전년 대비 20.9% 증가하였으며, 매년 10% 이상의 지속적인 증가세를 보여주고 있다²⁾. 더욱이 2020년 코로나 19 바이러스(COVID-19)에 의한 팬데믹(pandemic)에 따라 소비자의 비대면(untact) 구매활동이 증가하면서 국내 택배 물동량이 전년 대비 20-30%정도 폭증한 것으로 보고되고 있으며^{1,3,4)}, 글로벌 전문 컨설팅기업인 Makinsey & Company는 COVID-19 팬데믹 이후(postendemic)에도 이커머스 분야는 그 이전에 비해 더 가파르게 지속적으로 성장할 것으로 전망하고 있다⁵⁾.

반면, 이러한 유통서비스산업의 성장과 동시에 상품배송을 위한 택배 물동량의 증가는 최종 소비자로부터 배출되는 택배유통 포장폐기물의 증가로 이어지면서 심각한 환경문제를 초래하고 있으며, 이러한 택배포장 폐기물 감량화를 위해 내용물의 안전성을 고려한 유통포장 최적설계 및 적정 포장공간비율, 재사용 택배포장 등 다양한 방안들이 국내외에서 시도되고 있다⁶⁻¹⁰⁾. 국내에서는 Oh 등¹⁾이 택배 유통포장 폐기물 감량화 방안 연구에서 택배유통 포장의 최

*Corresponding Author: Jae Young Oh
Korea Conformity Laboratories, 199, 1st Gasan Digital Road,
Gumcheon-gu, Seoul, 153-803 Korea
Tel: +82-2-6912-2330
E-mail: jyoungoo@kcl.re.kr

소화 및 최적화를 위해 적정 포장설계 방법 및 포장공간비를 제한 등의 방안을 제시하였고, 보다 근본적인 택배유통 포장폐기를 감량화 방안으로서 회수물류시스템 구축을 전제로 하는 재사용이 가능한 순환택배포장 시스템 도입을 제안하였다¹¹⁾. 현행 택배유통 포장의 대부분이 일회성(one-way) 포장임을 감안하면, 배송용 포장 폐기물 감량화를 위해 택배 물류환경에서의 상품의 보호와 과대포장 방지의 모순적 관계 사이에서 ‘적정포장 설계¹²⁾’를 반영한 상품 맞춤형 유통포장 최적화가 우선적으로 이루어져야 할 것이다. 이를 위해 국제안전운송협회(International Safe Transit Association, ISTA) 또는 미국재료시험협회(American Society of Testing and Materials, ASTM), 국제표준화기구(ISO) 등에서는 진동(유효가속도), 낙하, 충격, 압축, 온습도 등 필드측정 물류 환경부하 데이터를 기반으로 실제 유통물류 경로상에서의 환경부하를 실험실에서 모사-재현할 수 있도록 Field-to-Lab Test 방법들을 개발하여 지속적으로 업데이트함으로써 운송 포장화물의 안전성 검증 및 적정포장을 위한 효율적 도구로 활용하고 있다.

본 연구에서는 Suh와 Oh 등¹³⁾이 선행 연구를 통해 제시한 국내 택배 유통물류 포장의 물류환경부하 분석 데이터를 기반으로 국내 택배 유통물류 환경에 부합하는 Field-to-Lab Test 방법을 도출함으로써 국내 택배 포장화물의 안전 운송 시험방법 표준화의 기초자료로 활용하였고¹⁴⁾, 해외 운송시험 표준들과의 정량적 데이터 비교를 통해 국내 택배 유통물류 환경부하를 확인하고자 하였다. 또한, 실제 온라인 판매되는 포장제품에 이 시험방법을 적용하여 운송시험을 수행함으로써 국내 택배 유통물류 포장의 안전성 확보 및 적정포장을 위한 활용 도구로서 이 시험방법의 효용성을 검증하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

택배유통 포장제품의 안전운송 및 적정포장 설계가 필요한 제품 선정에 위하여, 온라인 유통회사인 G사와 사전 협의를 통해 현행 상품 배송시 파손 및 불량률 (택배포장의 파손, 제품의 파손 및 스크래치, 내용물 유출 등)이 높은 세제류 (P제품), 식기류 (C제품) 및 소형 가구제품 (G사) 각 1종씩, 총 3종의 택배 수송포장 제품을 대상으로 선정하였다.

2. 실험방법

선정된 3종의 택배 포장 제품에 대하여, Suh와 Oh 등¹³⁾의 국내 택배 유통물류 포장의 물류환경부하 분석 데이터를 기반으로 도출된 국내 택배 유통물류 환경부하에 대응하는 Field-to-Lab Test 시험방법^{14,15)}으로 실험실에서 압축시험, 낙하시험, 진동시험의 순서로 운송시험을 수행하여 포장 재설계 및 개선을 통해 안전성을 확보하고, 온라인 유통회사인 G사 및 소비자 평가를 통해 시험방법의 유용성을 확인하였다. 또한, 추가적 포장 개선과 Field-to-Lab Test 시험방법을 통해 과대포장 지양과 적정포장 설계를 위한 도구로서의 효용성을 검증하였다.

Field-to-Lab Test에 사용된 장비는 진동시험기 (제조사: EMIC Co., 모델명: F-26000BDH/LA26AW), 낙하시험기 (제조사: Lansmont Co., 모델명: PDT-227), 압축시험기 (제조사: 신강정밀)를 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 국내 택배 유통물류 환경에 부합하는 Field-to-Lab Test 시험방법 표준화

1.1. 택배 포장화물의 Field-to-Lab Test 표준안 도출

Suh와 Oh 등¹³⁾이 국내 택배 유통물류 패키징의 물류환경부하 분석 연구에서 필드데이터를 실험실 가속 시뮬레이션(Field-to-Lab) 시험으로 대체하기 위해 적용한 Field-to-Lab 등가식을 바탕으로 제시한 진동부하와 국내 택배물류 환경에서의 낙하충격 데이터 등으로부터 진동 및 낙하충격에 대한 실험실 모의 시험 방법(simulated test method)을 도출하였고, 해외 표준 (ISTA Test Procedure 2A¹⁵⁾, ASTM D 4169¹⁶⁾을 참고하여 압축시험을 추가함으로써 다음과 같이 실험실에서 재현할 수 있는 국내 택배포장 화물의 시험방법 표준안을 도출하였다.

1.1.1. 진동시험

Suh와 Oh 등¹³⁾은 실제 국내 유통물류 환경에서 택배 포장화물의 진동부하 데이터를 계측하여 실험실 가속 시뮬레이션 시험으로의 변환을 위해, 시험강도와 시험시간 사이의 관계를 나타내는 식(1)의 Field-to-Lab 등가식¹⁷⁾을 적용함으로써, 각 축(X, Y, Z) 대한 전체 진동수 대역의 유효가속도 (Overall Grms)를 분석하였다. 이때 국내 택배 유통물류

Table 1. Samples for experiments

Samples	Pkg. Information	Dimension(W×L×H) (mm)	Weight (kgf)	Materials
Package for Detergents	(P company)	395 × 448 × 340	23.8	Double wall corrugated box
Package for Tableware	(C company)	305 × 540 × 360	12.2	Double wall corrugated box
Package for Furniture	(G company)	425 × 425 × 1,040	8	Double wall corrugated box

현황을 반영하기 위해 실제 측정된 평균 택배 유통시간인 12시간을 적용하였으며, 실험실에서의 모의시험 시간을 1시간으로 설정하여 진행하였다.

$$I_T = I_0 \times \sqrt{\frac{T_0}{T_T}} \quad (1)$$

여기서, I_T 는 실험실 시험강도 (변환된 Overall Grms 값), I_0 는 실제 물류환경에서 계측된 진동데이터(실제 측정된 Overall Grms 값), T_0 는 실험실에서의 진동시험 시간 (1 h), T_T 는 실제 택배물류 배송시간을 나타낸다.

본 연구에서는 앞선 선행연구에서의 기존 택배사 (C사, H사)와 신규 택배사 (W사)에 대한 추가적 데이터 계측 실험을 수행함으로써 최신 데이터의 추가적 반영 및 실측 데이터량을 확대하였으며, 이 실측한 데이터 ($T_0 = 14$ h)들을 기반으로 상기 Field-to-Lab 등가식에 적용함으로써 ($T_0 = 1$ h) 주파수 대역별 평균 진동부하 (PSD value) 및 유효가속도 값을 각 택배사별로 산출하였다. 그리고, Fig. 1에 나타난 바와 같이 택배 수송 중 진동부하에 대한 Field-to-Lab 가속시험 조건 적용을 위해 다른 방향에 비해 상대적으로 진동부하가 높은 상하방향 (Z축)에 대한 각 택배사별 변환 데이터들을 주파수 대역별로 에너지 강도가 큰 최대

값을 조합하여 진동부하 (PSD value) 및 유효가속도값 (0.80 Grms)을 산출하였으며, 이를 표준 시험방법으로서의 활용을 위해 Table 2에 나타난 바와 같이 실험실 가속 모의 시험용 랜덤진동 시험조건을 도출하였다. 다만, Fig. 1에 보여지는 바와 같이 주파수 1-4 Hz 영역대에서는 실제 계측 및 변환된 데이터 값보다 낮은 수준의 시험조건을 채택하였는데, 이는 현재 범용 진동시험 장비의 최대 진폭 (maximum stroke) 등 출력 성능을 고려하여 구동 가능한 범위로 조정하였고, 그 대신 4-15 Hz 영역대에서의 상향 조정을 통해 전체적으로 동등수준의 진동부하가 구현되도록 보완하였다. 주파수 1-4 Hz 영역대에서 다소 높은 가속도값이 계측된 원인으로는 국내 도심에 다수 설치된 과속방지턱에 의한 배송 트럭의 진동 영향인 것으로 추정되며, 1-4 Hz의 저주파수 영역에서의 진동부하는 실제로 제품이 미치는 영향이 미미할 것으로 판단된다. 또한, Fig. 2에서 비교된 바와 같이 글로벌 표준에서도 저주파수 영역에서 동일한 상황임을 확인할 수 있다.

또한, 이를 해외표준에서 제시하고 있는 진동시험 조건의 유효가속도(Overall Grms)와 비교 분석함으로써 Fig. 2에 나타난 바와 같이 국내 택배물류 포장(B2C)의 유통물류 경로에서 발생하는 진동부하를 정량적으로 비교 및 확인할 수 있었다.

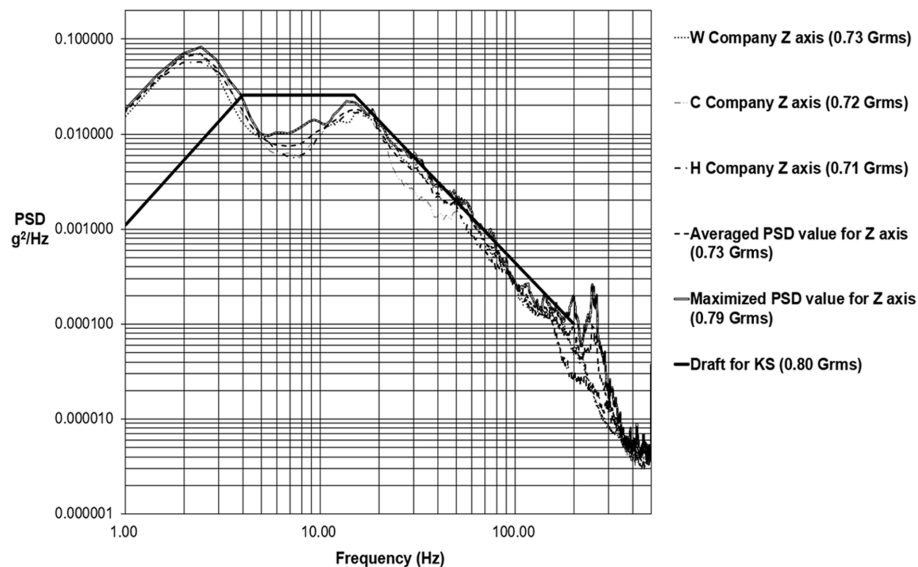


Fig. 1. Domestic vibration test conditions and graph for the Field-to-Lab simulation on the parcel delivery packaging system, calculated by the time-compression formula.

Table 2. Vibration test conditions for the Field-to-Lab simulation on the parcel delivery packaging system

Frequency (Hz)	Power Spectral Density(PSD level) G ² /Hz	Acceleration (Overall Grms)	Test time (h)
1.0	0.001 11	0.80	1
4.0	0.025 97		
18.0	0.025 97		
200.0	0.000 10		

Value \ Standards	Draft for KS (Random)	ASTM D 4169 (Truck_High Level)	ISTA 2A (Random)
Acceleration (Overall Grms)	0.80	0.70	1.15
Test Time (h)	1	1	1

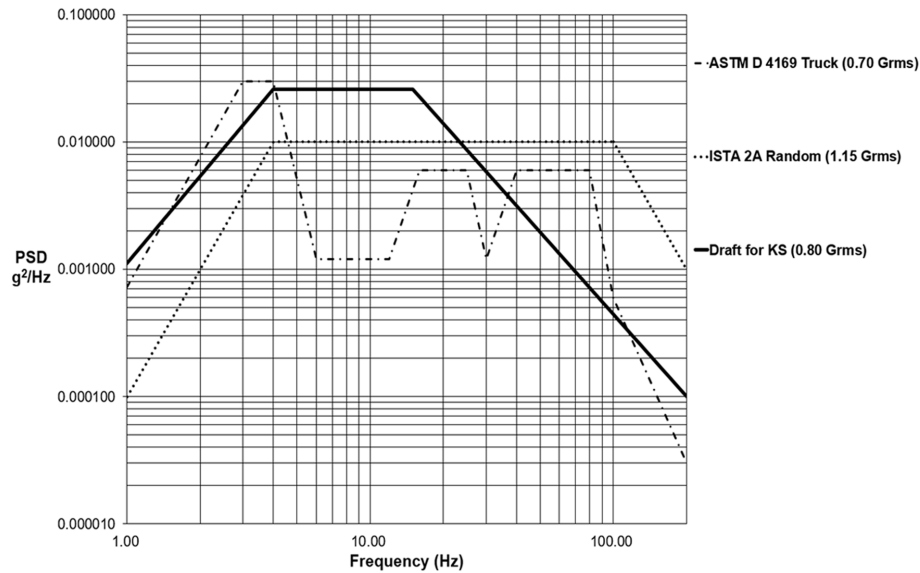


Fig. 2. Comparison between domestic vibration test condition and global standards for the Field-to-Lab simulation on the parcel delivery packaging system.

1.1.2. 낙하충격시험

Fig. 3에 나타난 바와 같이 선행연구의 실험결과에서 택배 유통 중 유통물류 포장의 낙하충격 높이는 중량에 따라 약 0.3-0.7 m로 나타나고 있으며, 유통물류 포장의 무게가 무거울수록 낙하 횟수 및 낙하높이가 낮은 것으로 나타났다¹³⁾. 또한, 추가적으로 실측한 데이터들을 통

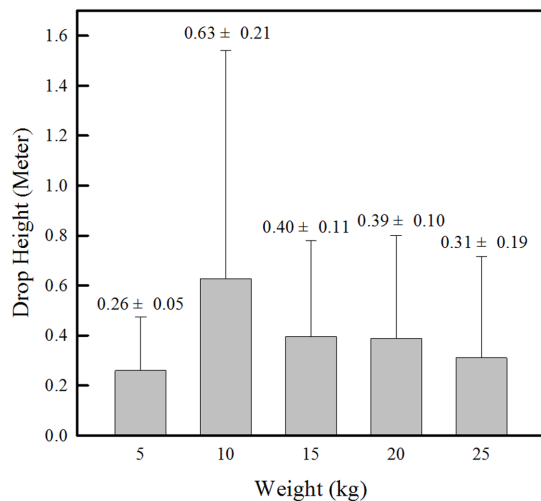


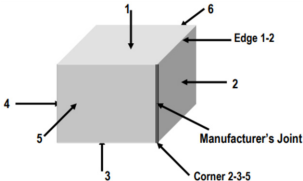
Fig. 3. Average drop height of each dummy gathered from the distribution¹³⁾.

해 택배 유통물류 경로상에서 유통물류 포장의 주요 낙하충격 횟수가 평균적으로 3-5회로 분석되었다. 이러한 실험결과를 바탕으로 국내 표준(KS T ISO 2248 수송포장의 수직낙하 충격시험)¹⁸⁾과 해외 표준(ISTA Test Procedure 1A)¹⁵⁾에서 제시한 낙하 시험방법과 비교해 보면, 낙하높이는 서로 유사한 것으로 나타났다. 반면, 낙하충격 횟수는 국내 유통물류환경에서 다소 낮은 것으로 확인되었는데, 이는 국내 포장화물의 유통물류 경로의 길이가 해외에 비해 상대적으로 짧은 데서 기인한 것으로 판단된다. 따라서, 국내 택배 포장화물의 낙하충격에 대한 실험실 모의 시험 방법 (Filed-to-Lab simulated test method)으로 택배 유통물류 경로상에서 포장 제품의 안전성 확보 차원에서 해외 표준에서 제시한 수송 포장화물의 낙하 높이 및 낙하횟수, 충격 위치와 순서 등의 사례를 참고하여, Table 3과 같이 국내 택배유통 포장화물에 적용 가능한 낙하충격 시험방법을 도출하였다.

1.1.3. 압축시험

유통물류 과정에서의 택배 포장화물의 포장 적재 등 압축부하에 대한 실험실 모의 시험 방법 도출을 위해 국내 표준(KS T ISO 12048 수송포장의 압축 시험기를 이용한 압축 및 적재 시험)¹⁹⁾과 해외 표준(ISTA Test Procedure 2A)¹⁵⁾에서 제시한 압축 및 적재 시험방법을

Table 3. Drop test conditions for the Field-to-Lab simulation on the parcel delivery packaging

Gross weight of package (kgf)	Drop height (mm)	Drop positions
$0 \leq 10$	760	
$10 < \text{Weight} \leq 20$	610	
$20 < \text{Weight} \leq 30$	460	

참조하여, 식(2)의 압축부하 계산식을 이용한 압축시험 방법을 도출하였다.

$$\text{Compression Testing Load (N)} = W_l \times (S - 1) \times F \times 9.8 \quad (2)$$

여기에서, W_l 는 포장화물의 무게(kgf), S 는 포장화물의 적재단수, F 는 안전계수(2~6)를 나타낸다.

1.2. 택배 포장화물의 Field-to-Lab Test 시험방법 표준화를 위한 유효성 검증

앞에서 도출된 국내 택배 포장화물의 Field-to-Lab Test 시험방법의 유효성 검증을 위해, 유통기업과의 협의를 통해

선정된 세제류 (P제품), 식기류 (C제품), 소형가구제품 (G사) 3종의 포장제품에 대하여 기존 택배 유통포장 상태로 상기의 Field-to-Lab Test 표준안을 적용하여 실험을 수행하였다. 그 결과, 진동시험에서 제품의 스크래치, 낙하시험에서는 제품 파손 및 내용물 유출, 압축시험에서는 포장상자의 좌굴 등 실제 택배 배송 시에 발생했던 불량과 유사한 현상들이 발생하였다 (Fig. 4). 그리고, 각 제품의 파손 방지를 위한 포장 개선 작업을 통해 보완된 유통포장을 제작하여 각각 재시험을 수행한 결과, 소형가구제품 (G사)은 별다른 이상이 없어 포장 개선이 원활히 이루어진 것으로 판단되었으나 나머지 제품은 여전히 파손이 발생되었다. 나머지 제품에 대하여 추가적인 포장개선 작업과 동일한 시험 과정을 2~3회 반복 수행함으로써 최종적으로 나머지 제품에 대



A. Detergents

B. Tableware

C. Furniture

Fig. 4. Damages of the packaged products from the field-to-lab test.**Table 4.** Example for packaging optimization through the Field-to-Lab test on the parcel delivery packaging¹⁰⁾

Step	Revision		Packaging Information			Test Result	
	No.	Comment	Picture	Dimension (mm)	Weight (kg)	Comment	Pictures
1	origin	-		440×390×350	23.4	Product was broken	
2	1 st redesign	· Reduced box size · Removed partitioning paper		400×340×350	22.8	Cap was broken and disclosed	
3	2 nd redesign	· Applied paper tube to the cap		400×340×350	22.9	· No defects · Reduced 0.5 kg of the packaging	

해서도 유통물류 안전성이 개선된 포장 제작이 이루어졌다.

개선된 각 포장제품들의 실질적 유통물류 안정성 확인을 위해 온라인 유통회사인 G사를 통해 실제 유통판매에 적용하였고, 소비자 피드백을 통해 파손 및 불량률이 현저히 줄었음을 확인하였다²⁰⁾. 따라서, 본 연구에서 제시한 국내 택배 포장화물의 Field-to-Lab Test 시험방법을 활용함으로써 실제 택배유통 포장의 안전성 확보와 포장 개선을 위한 유용한 수단이 될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 적정포장 설계를 위한 Field-to-Lab Test의 효용성

앞서 언급한 바와 같이, 택배 포장화물의 Field-to-Lab Test 시험방법은 국내 택배 유통물류 패키징의 안전성을 확보하는 수단인 동시에, 반대로 이를 활용하여 불필요한 과대포장을 사전에 적정포장으로 개선하는 용도로도 활용 가능한데, 그 사례로 Table 4에 나타난 바와 같이, 본 연구의 실험에 적용된 세제류 제품의 Field-to-Lab Test 및 포장 개선 작업을 통해 최종적으로 택배 유통포장재 단위 포장당 0.5 kg의 감량화를 실현할 수 있었다¹⁰⁾. 따라서, 이 시험방법을 통해 택배 유통물류 포장의 안전성 확보 및 적정포장을 위한 설계 도구로 활용 가능하며, 궁극적으로 포장 최적화를 통해 포장·물류비용 절감 등 경제적 효과와 포장폐기물 감량화 등 환경적 차원의 비용 절감을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

결 론

본 연구를 통해 국내 택배 유통물류 환경에 부합하는 Field-to-Lab Test 시험방법을 도출하였고, 이를 통해 해외 운송시험 표준들과의 정량적 데이터 비교를 통해 국내 택배 유통물류 환경부하를 확인할 수 있었다. 또한, 이 시험방법을 시중의 온라인 유통·판매되는 제품에 적용하여 운송 시험 수행 및 실제 택배 배송 결과와 비교분석함으로써 국내 택배 포장화물의 안전운송 시험방법 표준화를 위한 유효성과 효용성을 검증하였다. 더욱이, 본 연구에서 제시한 국내 택배 포장화물의 Field-to-Lab Test 시험방법을 활용함으로써 택배 유통물류 포장의 안전성 확보와 동시에 적정포장을 위한 설계 도구로 활용 가능하므로, 궁극적으로 포장 최적화를 통해 포장·물류비용 절감 등 경제적 효과와 포장폐기물 감량화 등 환경적 차원의 비용 절감에도 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Jae Young Oh et al., 2020, A study on adaptability of returnable transport packagings in the parcel delivery service by e-commerce, Kor J Packaging Sci. Tech., Vol. 26, No. 2: 99-103.
2. 한국통합물류협회, 2020, 연도별 생활물류통계, 국내 택배시장 물동량 추이.
3. 국토교통부 보도자료, 2020.04.13., 코로나19 대응 택배 종사자 안전·처우 개선 권고.
4. 매일경제 보도자료, 2020.05.15., 코로나19에 따른 택배사업 물동량 증가 지속.
5. Makinsey & Company, 2021.02.18, The Future of Work after Covid-19.
6. Sustainability in E-commerce, 2020, E-Pack Forum.
7. Amazon Network, 2018, Amazon Frustration-Free Packaging Program Certification Guidelines ver.9.0.
8. Repack Case Studies, 2021, How to improve your Click and Collect offering with reusable packaging.
9. 환경부, 2018, 재활용폐기물 종합관리대책.
10. 오재영, 서상욱 등, 2019, 과대포장 방지를 위한 실태조사 및 적정기준 마련 연구, pp.40-57, pp.69, 환경부.
11. Jae Young Oh, Hyun Jun Jo et al., 2019, A Study on the Waste Reduction of Parcel Delivery Packaging, Kor J Packaging Sci. Tech., Vol.25, No.2 : 1-7.
12. Eric Joneson, 2012, Removing Waste from the Packaged Product Design, ISTA Transpack Forum.
13. Sanguk Suh, Jae Young Oh et al., 2017, Analysis on the Distribution Environmental Loads of the Parcel Packaging Delivered by Means of E-Commerce in Korea, Kor J Packaging Sci. Tech., Vol. 23, No. 2 1-6.
14. KS T 5055: 2020, 포장-수송포장-택배 유통 포장화물의 시험 방법, 한국표준협회.
15. International Safe Transit Association, 2021, ISTA Test Procedure 1A & 2A.
16. ASTM D 4169, 2016, Standard Practice for Performance Testing of Shipping Containers and Systems, American Society for Testing and Materials.
17. Young, Dennis E., 1993, "Focused Simulation", International Safe Transit Association.
18. KS T ISO 2248, 2020, 포장-수송포장-수직낙하 충격시험, 한국표준협회.
19. KS T ISO 12048, 2020, 포장-수송포장-압축 시험기를 이용한 압축 및 적재 시험, 한국표준협회.
20. 오재영, 서상욱, 임미진 등, 2017, 전자상거래(O2O) 기반 포장화물의 안전운송 시험인증 서비스, 산업통상자원부.

투고: 2022.04.11 / 심사완료: 2022.05.28 / 게재확정: 2022.06.23